



## The Effect of Seed Priming and Foliar Application in Conventional and Nano Forms on Quantitative and Qualitative Performance of Safflower

Basir Samadi Firozabad <sup>1</sup> <sup>3</sup> Reza Amirnia | <sup>2</sup> Mahdi Ghiyasi |

1. Department of Pant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Azrabayjan Garbi, Iran. E-mail: [b.samadi@areeo.ac.ir](mailto:b.samadi@areeo.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Pant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Azrabayjan Garbi, Iran. E-mail: [m.ghiasi@urmia.ac.ir](mailto:m.ghiasi@urmia.ac.ir)
3. Department of Pant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Azrabayjan garbi, Iran. E-mail: [r.amirnia@urmia.ac.ir](mailto:r.amirnia@urmia.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**  
Received 2 July 2023  
Received in revised form 1  
September 2023  
Accepted  
Published online

**Keywords:**  
*Hydro-priming*  
*Nano iron*  
*Nano zinc*  
*Oil percentag*  
*Osmo-priming*

### ABSTRACT

**Objective:** After being sprayed, nano-particles easily enter the leaves through the plant's stomatal system due to their small dimensions. Moreover, the significant increase in the molecular surface area of nano materials enhances their reactivity, consequently improving the plant's ability to utilize these compounds.

**Methods:** The present study was designed as a factorial experiment in a randomized complete block design (RCBD) at the research farm of the Central Station of the Agricultural Research and Education Center of Tehran Province. The study aimed to investigate the effects of foliar application in the form of seven treatments on the quantitative and qualitative performance and yield of the Goldasht safflower cultivar. The seven treatments included no spraying (control), spraying with normal and nano zinc, spraying with normal and nano iron, spraying with normal and nano manganese, and seed priming at three levels of non-priming (control), osmo-priming, and hydro-priming.

**Results:** The results showed that osmo-priming, followed by spraying with nano zinc and then with nano iron, had the most significant effect on increasing all the investigated traits, including yield components, seed yield, and oil percentage in safflower. Additionally, hydro-priming with nano zinc spraying could increase the thousand-seed weight, which is an essential yield component in safflower, to the highest statistical level.

**Conclusion:** Thus, the study suggests that seed priming of safflower with foliar application of micronutrients, especially nano zinc, and iron, can be recommended as a promising method for enhancing the quantitative and qualitative performance and yield of safflower seed and oil in similar weather conditions.

**Cite this article:**  
DOI:



© The Authors.  
DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352391.2771>

Publisher: University of Tehran Press.

## تأثیر پرایمینگ بذر و محلول پاشی و به صورت معمولی و نانو بر عملکرد کمی و کیفی گیاه گلرنگ

بصیر صمدی فیروزآباد<sup>۱</sup> | مهدی قیاسی<sup>۲</sup> | رضا امیرنیا<sup>۳</sup>

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران. رایانامه: [b.samadi@areeo.ac.ir](mailto:b.samadi@areeo.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران. رایانامه: [m.ghiasi@urmia.ac.ir](mailto:m.ghiasi@urmia.ac.ir)
۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران. رایانامه: [r.amirnia@urmia.ac.ir](mailto:r.amirnia@urmia.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

#### نوع مقاله

مقاله پژوهشی

**هدف:** ذرات نانو پس از محلول پاشی به دلیل ابعاد کوچک خود به راحتی از طریق سیستم روزنه‌ای گیاه وارد برگ می‌شوند. علاوه بر این به دلیل افزایش قابل ملاحظه سطح مولکولی مواد نانو واکنش پذیری آن‌ها نیز افزایش یافته و در نتیجه قابلیت استفاده از این ترکیبات توسط گیاه بهبود می‌یابد.

**روش پژوهش:** مطالعه‌ی حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه مرکزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان تهران اجرا شد. در این پژوهش اثرات محلول پاشی در قالب ۷ تیمار شامل عدم محلول پاشی (شاهد)، محلول پاشی با روی معمولی، محلول پاشی با روی نانو، محلول پاشی با آهن معمولی، محلول پاشی با آهن نانو محلول پاشی با منگنز معمولی و محلول پاشی با منگزنانو و پرایمینگ بذر در ۳ سطح عدم پرایمینگ (شاهد)، اسمو پرایمینگ و هیدروپرایمینگ جهت بررسی عملکرد کمی و کیفی و گلرنگ رقم گل‌دشت مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج پژوهش نشان داد که اعمال اسموپرایمینگ در درجه اول به همراه محلول پاشی نانو روی و پس از آن به همراه محلول پاشی با نانو آهن بیشترین تأثیر را بر افزایش معنی‌دار تمام صفات مورد بررسی شامل اجزای عملکرد، عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن در گلرنگ داشت. لازم به ذکر است که علاوه بر تیمار یاد شده (اسموپرایمینگ به همراه محلول پاشی نانو روی)، اعمال تیمار هیدروپرایمینگ به همراه محلول پاشی نانو روی نیز توانست وزن هزار دانه را که یکی از مهمترین اجزای عملکرد در گیاه گلرنگ است را تا بالاترین سطح آماری افزایش دهد.

**نتیجه‌گیری:** بنابراین نتایج در مجموع نشان داد که اعمال پرایمینگ بذر گلرنگ به همراه محلول پاشی عناصر ریزمغذی به ویژه روی و آهن به صورت نانو، به عنوان روشی امیدبخش جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی دانه و روغن گیاه گلرنگ در شرایط آب و هوایی مشابه (نیمه خشک) قابل توصیه است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۰

تاریخ پذیرش:

تاریخ انتشار:

#### کلیدواژه‌ها:

اسموپرایمینگ

درصد روغن

نانو آهن

نانو روی

هیدروپرایمینگ

استناد:

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352391.2771>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

روغن‌های خوراکی یکی از موارد پر مصرف در سبد غذایی مردم در اقصی نقاط جهان و از جمله کشور ما به‌شمار می‌روند. متاسفانه به‌رغم تقاضای بالا در رابطه با محصولات روغنی گسترش کشت و تولید آنها در کشور به دلایل مختلف بسیار کند می‌باشد و بخش قابل توجهی از روغن نباتی مصرفی در ایران از طریق واردات تامین می‌شود (فلاح و همکاران، ۱۳۹۹).

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که بومی ایران می‌باشد و سازگاری قابل توجهی با شرایط آب و هوایی ایران داشته و قابلیت زیادی برای گسترش کشت در بسیاری از مناطق کشور را دارا می‌باشد. متوسط روغن موجود در دانه این گیاه ۳۰ درصد است که از نظر کیفیت نیز از روغن‌های مرغوب به‌شمار می‌رود. علاوه بر این با توجه به بالا بودن پروتئین در کنجاله آن پس از روغن‌کشی قابلیت استفاده به عنوان غذای انواع دام‌ها را نیز به اشکال مختلف دارد (Naik *et al.*, 2020). بنابراین، با توجه به ویژگی‌های این گیاه روغنی به نظر می‌رسد گسترش کشت آن در کشور گامی موثر برای افزایش تولید دانه‌های روغنی و کاهش وابستگی به واردات باشد.

از مهم‌ترین مشکلات زراعت گلرنگ عدم یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن آن و حصول سبز مزرعه یکنواخت در مدت زمانی کوتاه در ابتدای فصل می‌باشد. این امر می‌تواند عملکرد کمی و کیفی محصول را در ادامه مراحل فنولوژیکی با مشکل روبرو سازد (پارسامهر و همکاران، ۱۳۹۶). جهت بهبود جوانه‌زنی و استقرار محصول روش‌های مختلفی در مدیریت‌های آگروتکنولوژیکی مطرح می‌باشد. یکی از این روش‌ها پرایمینگ بذر است. در این روش بذرهای قبل از کاشت و در شرایط کنترل شده در معرض آغاز فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی جوانه‌زنی قرار می‌گیرند. معمولاً این تیمارها پیش از خروج ریشچه متوقف شده و پس از خشک کردن بذر تا رسیدن به حدود رطوبت اولیه، عملیات کشت انجام شده و فرآیند جوانه‌زنی مجدداً در بستر بذر پس از کاشت آغاز می‌شود. ویژگی‌های بارز این تیمارها ارزان بودن، سهل‌الوصول بودن و تاثیر بالای آن‌ها در بهبود جوانه‌زنی و بنیه بذر و گیاهچه می‌باشد (Waqas, 2019).

## ۲. پیشینه پژوهش

### ۱.۲. پیشینه نظری

متعارف‌ترین روش‌های پرایمینگ بذر هیدروپرایمینگ، اسموپرایمینگ، هاردنینگ و هالوپرایمینگ می‌باشد (سیدشرفی و همکاران، ۱۳۹۷). اساس تمامی این روش‌ها خیس کردن بذر پیش از کاشت در شرایط کنترل شده می‌باشد. در پرایمینگ بذر پس از جذب آب مرحله آبنوشی اولیه و فاز تاخیری تحقق یافته و در آغاز ورود بذر به مرحله آنگیری مجدد بذرهای تیمار شده تا رسیدن به حدود رطوبت اولیه تحت شرایط سایه خشک می‌شوند. با انجام این کار تغییرات مهمی در این بذرهای حادث می‌شود که در نهایت بنیه بذر و قابلیت جوانه‌زنی و استقرار آن در مزرعه را به‌طور معنی داری افزایش می‌دهد (Kumar & Rajalekshmi, 2021). مهم‌ترین مزایای پرایمینگ بذر شامل افزایش میتوکندری‌ها و بهبود وضعیت تنفسی بذر، افزایش سنتز آنزیم‌های تجزیه کننده و باز فعال شدن آن‌ها، تحقق واکنش‌های ترمیمی و بهبود دهنده در بذر، افزایش سنتز و بازسازی DNA، افزایش رونویسی و ترجمه mRNA می‌باشد. با تحقق این موارد و بهبود وضعیت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه استقرار و دستیابی به سبز مزرعه یکنواخت و ایجاد گیاهان اتوتروف در مزرعه تسریع شده و این امر منجر به بهبود شرایط اکوفیزیولوژیکی گیاه می‌شود (Pagano *et al.*, 2023).

از سوی دیگر به علت فقر مواد غذایی در اکثر خاک‌های زراعی کم بازده و عدم تامین نیاز گیاه به عناصر غذایی به‌ویژه ریزمغذی‌ها عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی مختلف از جمله گلرنگ کاهش معنی‌داری می‌یابد. بنابر این اعمال تیمارهایی که شرایط تغذیه‌ای آن را بهبود بخشد می‌تواند در ارتقای عملکرد کمی و کیفی آن موثر باشد (پارسامهر و همکاران، ۱۳۹۶). جهت بهبود تغذیه گیاه تیمارهای مختلفی در مدیریت‌های آگروتکنولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد که از موفق‌ترین این روش‌ها تغذیه برگی یا محلول‌پاشی عناصر غذایی است (Abdoli, 2021). تغذیه برگی یا محلول‌پاشی اگرچه در بسیاری از منابع و تحقیقات به عنوان یک روش مکمل جهت تأمین بخشی از نیازهای غذایی و جبران کمبود آن‌ها در خاک معرفی شده

است، اما به علت راندمان بالای آن به دلیل جذب عناصر غذایی توسط برگ‌ها از کارایی بالایی برخوردار بوده و در صورت استفاده صحیح و اصولی می‌تواند عملکرد کمی و کیفی گیاه را با تأمین بخشی از عناصر مورد نظر غذایی بهبود بخشد (Mohammadghasemi et al., 2021). استفاده از این روش در تأمین بخشی از نیاز گیاه به عناصر ریزمغذی معمولاً نتایج رضایت‌بخش‌تری به همراه داشته و علت این امر نیاز کم گیاهان به عناصر ریزمغذی از نظر کمی می‌باشد (Abdoli, 2021). نوع مواد مصرفی در محلول‌پاشی نتیجه زیادی در پاسخ گیاه به آن داشته، به‌طور کلی هر چه موادی که به این منظور استفاده می‌شوند از قابلیت جذب بالاتری توسط گیاه برخوردار باشند و پس از ورود به گیاه در واکنش‌های زیستی مورد استفاده قرار گیرند، کارایی محلول‌پاشی افزایش پیدا می‌کند (Ram et al., 2021).

## ۲.۲. پیشینه‌ی تجربی

یکی از عناصری که به توصیه محققان در محصولات مختلف به صورت محلول‌پاشی مورد استفاده قرار می‌گیرد آهن است که به عنوان عامل اکسایش و کاهش در بخشی از ساختمان ناقلائی که در ترا فرستی الکترون نقش دارند همانند سیتوکروم‌ها و پروتئین‌های دیگری که در فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن نقش دارند حضور دارد (Abdoli et al., 2020). عنصر دیگر جهت محلول‌پاشی در میان عناصر ریزمغذی منگنز است، که در فعال سازی واکنش‌های متابولیکی مهم در گیاهان از جوانه‌زنی تا رسیدگی بذر نقش ایفاء کرده و شرایط را برای افزایش قابلیت دسترسی به برخی از عناصر پر مصرف مثل فسفر و کلسیم تسهیل می‌نماید. عنصر منگنز با شرکت در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء و ایفای نقش در سیستم‌های انتقال الکترون در واکنش‌های تنفسی و واکنش‌های متابولیکی نقش اساسی داشته، و جزء ساختمانی متالوپروتئین‌ها بوده و همچنین کمک به متابولیسم آهن و آسیمیلایسیون نترات از وظایفی است که منگنز به عهده دارد، فراتر از این موارد در تغذیه کامل نبات می‌تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش‌های غیر زنده و زنده به طور موثری افزایش دهد (Ghassemi-Golezani et al., 2021). عنصر روی نیز از دیگر عناصر کم مصرف گیاهی مورد استفاده در محلول‌پاشی گیاهان مختلف بوده که وظایف مهمی در بخش‌های مختلف گیاه، از جمله مکانیزم‌های حفاظتی و ترمیم صدمات مکانیکی دارد و پس از عنصر ریزمغذی آهن بیشترین مقدار را به لحاظ کمی در بافت های مختلف دارد. این عنصر در ساختمان قریب به ۲۰۰ نوع آنزیم و پروتئین شرکت دارد و کمبود آن فعالیت آنزیم‌های مهمی از جمله الکل دی‌هیدروژناز، دیمیدین کیناز، کربوکسی‌پیسیداز، فسفاتاز، پلی مرز RNA، پلی مرز DNA و بسیاری از آنزیم‌های دیگر را به شدت کاهش داده، از این طریق زندگی گیاه را تحت شعاع خود قرار می‌دهد (Mohammadghasemi et al., 2021).

در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات نانو در تولید انواع کودها افزایش چشم‌گیری یافته که این مواد به دلیل ساختار ویژه‌ای که در مولکول‌های خود دارند عملاً ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی متفاوتی از خود نشان می‌دهند. از دلایل این امر ابعاد بسیار کوچک ذرات این ترکیبات است که عملاً در حد نانومتر می‌باشند. ترکیبات نانو بر اساس استانداردهای بین‌المللی به موادی گفته می‌شود که ابعاد ذرات آنها بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر قرار دارد (Mogazy & Hanafy, 2022). این ذرات پس از محلول‌پاشی به دلیل ابعاد کوچک خود به راحتی از طریق سیستم روزنه‌ای گیاه وارد برگ می‌شوند. علاوه بر این به دلیل افزایش قابل ملاحظه سطح مولکولی مواد نانو واکنش‌پذیری آنها نیز افزایش یافته و در نتیجه قابلیت استفاده از این ترکیبات توسط گیاه بهبود می‌یابد. کاربرد این ترکیبات در تغذیه گیاهی به دلیل راندمان جذب بالا به‌ویژه در تغذیه برگ، جذب کنترل شده مواد توسط گیاه و ممانعت از آب‌شویی به سرعت در حال افزایش است (Weisany et al., 2021). این کودها در مقادیر بسیار کم مورد استفاده قرار می‌گیرند، علت این امر افزایش بسیار زیاد راندمان جذب آنها توسط برگ و ارگان‌های مختلف موجود در آنها اعم از کوتیکول، روزنه‌ها و غیره می‌باشد. این امر به‌ویژه در ارتباط با عناصر ریزمغذی مصداق بیشتری داشته و نیاز بحرانی گیاه را در مقاطع حساس رشدی به خصوص در شروع مرحله زایشی می‌تواند تأمین نماید. نانوکودها با تأثیر بر کنترل دقیق آزادسازی ترکیبات غذایی موجود در آنها ضمن افزایش راندمان جذب عناصر غذایی منجر به کاهش مقادیر کود مصرفی در واحد سطح می‌شوند، که به نوعی پایدار و ایجاد سازگاری بین فعالیت‌های کشاورزی و محیط زیست تلقی می‌شود.

شرایط خشکسالی‌های ممتد و کاهش عناصر غذایی خاک، رشد و تولید برخی از گیاهان روغنی مرسوم در ایران را با محدودیت‌های زیادی مواجه ساخته‌است و کاهش عملکرد و کیفیت این گیاهان را در پی داشته‌است. این در حالی است که مطالعات اندکی درباره تاثیر توام محلول‌پاشی و پرایمینگ بذر بر عملکرد گیاه گلرنگ صورت گرفته است از اینرو، هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی با ترکیبات مختلف غذایی و از جمله نانو کودها بر عملکرد کمی و کیفی گلرنگ بوده است.

### ۳. روش شناسی پژوهش

مطالعه حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه مرکزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان تهران با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) اجرا شد. این منطقه در طبقه‌بندی اقلیمی کوپن دارای تابستان‌های گرم و خشک، زمستان‌های ملایم با میانگین بارندگی سالانه ۱۷۰ میلی‌متر می‌باشد (میرموسوی و کیانی، ۱۳۹۶).

در این پژوهش اثرات محلول‌پاشی در قالب ۷ تیمار شامل عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی با روی معمولی، محلول‌پاشی با روی نانو، محلول‌پاشی با آهن معمولی، محلول‌پاشی با آهن نانو محلول‌پاشی با منگنز معمولی و محلول‌پاشی با منگزنانو و پرایمینگ بذر در ۳ سطح عدم پرایمینگ (شاهد)، اسمو پرایمینگ و هیدروپرایمینگ با مجموع ۲۱ تیمار در ۳ تکرار جهت بررسی عملکرد کمی و کیفی و گلرنگ رقم گلدشت مورد بررسی قرار گرفت. جهت اجرای پرایمینگ بذر در اسمو پرایمینگ (با PEG در غلظت ۵ درصد) (Waqas, 2019) و هیدروپرایمینگ بذور در آب معمولی به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاه در دمای ۲۲ + و ۲- درجه سانتی‌گراد به نسبت ۱:۵ رطوبت به بذر خیس نموده و سپس بذور خیس شده را پس از سپری شدن مدت زمان اشاره شده بر روی کاغذ صافی یا روزنامه خشک نموده و حداکثر طی ۴۸ ساعت پس از آن کشت انجام گرفت. در خصوص پلی اتیلن گلیکول<sup>۱</sup> (PEG) درحین اعمال تیمار از عملیات هوادهی با پمپ آکواریوم استفاده گردید و بذوری که در حال اعمال تیمار هستند از هر ۳ تا ۴ ساعت به هم زده شد. محلول‌پاشی بوته‌ها با کودهای ریزمغذی (آهن، روی و منگنز) بصورت معمولی و نانو پس از استقرار کامل بوته‌ها به مدت هر ۱۵ روز یک بار در دو نوبت اعمال، به‌طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شوند. عملیات داشت شامل آبیاری، واکاری و تنک کردن در طول دوره رشد به‌موقع انجام شد.

به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش، قبل از کاشت و شروع آزمایش، از پنج قسمت از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری به‌عمل آمد و پس از خردکردن کلوخه‌ها، نمونه‌ها از الک ۱ میلی‌متری گذرانده شدند. سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه از لحاظ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۱. ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات خاک محل آزمایش

عمق نمونه (سانتی‌متر)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیترژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رسی (درصد)	بافت خاک
۰-۳۰	۷/۸	۵/۲	۳۳۵	۶/۷	۰/۰۸	۰/۸۲	۲۷	۴۴	۲۹	سیلتی‌لوم

لازم به توضیح است که هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط کاشت به طول ۵ متر با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته ۱۰ سانتی‌متر بذور به‌طور مستقیم در عمق ۵ سانتی‌متری سطح خاک در روی پشته‌های کرت‌ها کشت گردید، بنا بر این تراکم کاشت مورد نظر برابر ۱۶۶۶۶۶ بوته در هکتار و عملیات کاشت در حدود ۱۵۰۰ متر مربع بوده است که عملیات آبیاری بلافاصله

<sup>۱</sup> Polyethylene glycol

پس از کاشت انجام شد. در آستانه عملیات برداشت نیز صفات تعداد طبق در هر بوته، تعداد دانه در طبق، تعداد طبق در مترمربع و وزن صد دانه یادداشت برداری و ثبت شد. در ادامه با انتقال دانه‌های برداشت شده هر یک از تیمارهای اشاره شده به آزمایشگاه صفاتی مانند درصد روغن، عملکرد روغن در هکتار و عملکرد دانه در هکتار مورد ارزیابی قرار گرفت برای این منظور ۲ متر مربع از هر کرت (ردیف‌های وسط) با رعایت حاشیه، برداشت خواهد شد و محاسبه عملکرد دانه براساس ۱۳ درصد رطوبت انجام شد. و عملکرد دانه پس از کوبیدن و جدا کردن دانه‌ها بوسیله خرمن‌کوب، اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری درصد روغن بر اساس رابطه ۱ (Jagadish *et al.*, 2021)، از دستگاه سوکسله و حلال پترولیوم اتر استفاده شد.

$$\text{رابطه ۱)} \quad \times 100 = (\text{روغن وزن}) / (\text{نمونه وزن}) \text{ درصد روغن}$$

داده‌های حاصل از آزمایش نیز با استفاده از نرم افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و میانگین‌ها به وسیله آزمون LSD<sup>۱</sup> در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. برای رسم شکل‌ها از برنامه Excel استفاده گردید.

#### ۴. یافته‌های پژوهش

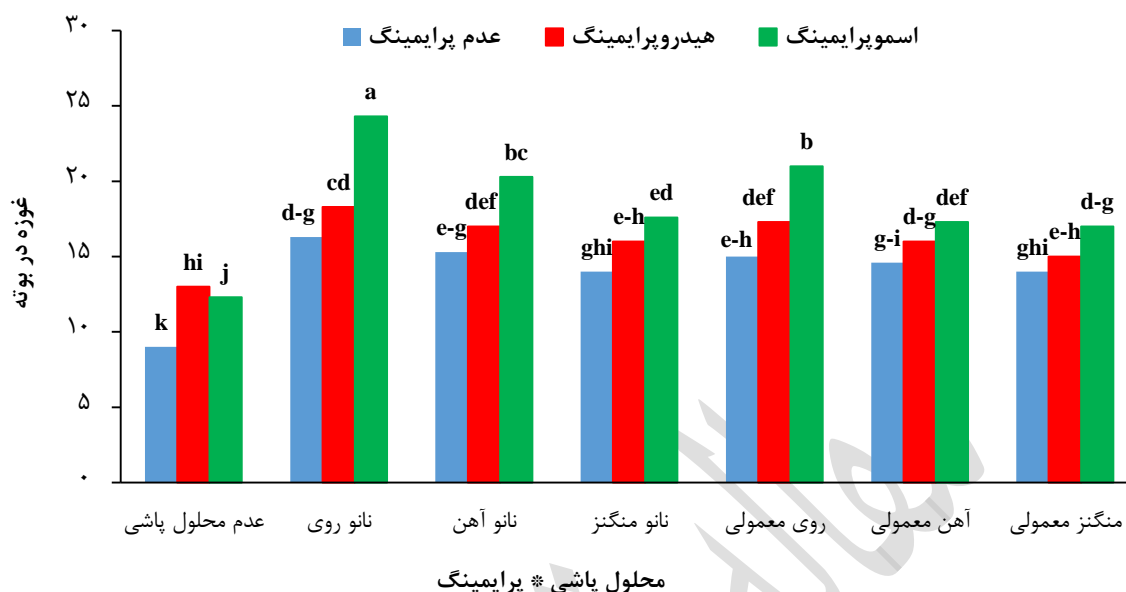
نتایج داده‌ها نشان داد که تعداد غوزه در بوته در گیاه گلرنگ تحت تأثیر محلول‌پاشی و پرایمینگ قرار گرفت. به طوری که اثر ساده‌ی این تیمارها در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر برهمکنش محلول‌پاشی در پرایمینگ (شکل ۱) نشان داد که اعمال توام پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی هر سه عنصر روی، آهن و منگنز چه در حالت معمولی و چه به صورت نانو باعث افزایش معنی‌دار تعداد غوزه در بوته گلرنگ نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی عناصر با تیمار پرایمینگ مشابه شد. اما نکته قابل توجه این بود که بیشترین تعداد غوزه در بوته (۲۴/۳ غوزه) در تیمار اعمال اسموپرایمینگ به همراه محلول‌پاشی نانو روی مشاهده شد و پس از آن نیز تیمار اعمال همزمان اسموپرایمینگ با محلول‌پاشی روی معمولی، رتبه‌ی دوم بیشترین تعداد غوزه در بوته‌ی گلرنگ (۲۱ غوزه) را به خود اختصاص داد (شکل ۱). به عبارت دیگر اسموپرایمینگ و عنصر روی بیشترین تأثیر را بر افزایش تعداد غوزه‌ی گیاه گلرنگ داشته‌اند.

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات عملکرد گیاه گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی و پرایمینگ بذر.

میانگین مربعات							
منابع تغییرات	درجه آزادی	غوزه در بوته	دانه در غوزه	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن
تکرار	۲	۱/۷۳ <sup>ns</sup>	۱/۵۳ <sup>ns</sup>	۳/۰۰ <sup>ns</sup>	۷۰۸۰/۴*	۰/۶۸۳ <sup>**</sup>	۶۵۸/۳ <sup>ns</sup>
محلول‌پاشی (A)	۶	۶۱/۷ <sup>**</sup>	۲۹۰/۲ <sup>**</sup>	۹۳/۱۲*	۹۴۷۴۱/۲ <sup>**</sup>	۹/۱۴ <sup>**</sup>	۱۷۸۰۲/۱ <sup>**</sup>
پرایمینگ (B)	۲	۱۰۷/۴۴ <sup>**</sup>	۳۱۶/۴ <sup>**</sup>	۹۶/۵۵*	۶۸۳۲۸/۶ <sup>**</sup>	۰/۷۳۰ <sup>**</sup>	۱۰۲۹۰/۴ <sup>**</sup>
A×B	۱۲	۴/۵۳*	۱۰/۷۵*	۶۲/۲۳*	۱۱۵۵۳/۴ <sup>**</sup>	۰/۶۴۲ <sup>**</sup>	۱۸۵۳/۵ <sup>**</sup>
خطا	۲۸	۲/۱۹	۵/۱۹	۲۷/۲۶	۲۳۷۲/۸	۰/۰۱۸	۳۰۲/۲
CV%	-	۹/۰۷	۵/۳۲	۱۱/۱۴	۷/۵۲	۶/۳۸	۶/۵۸

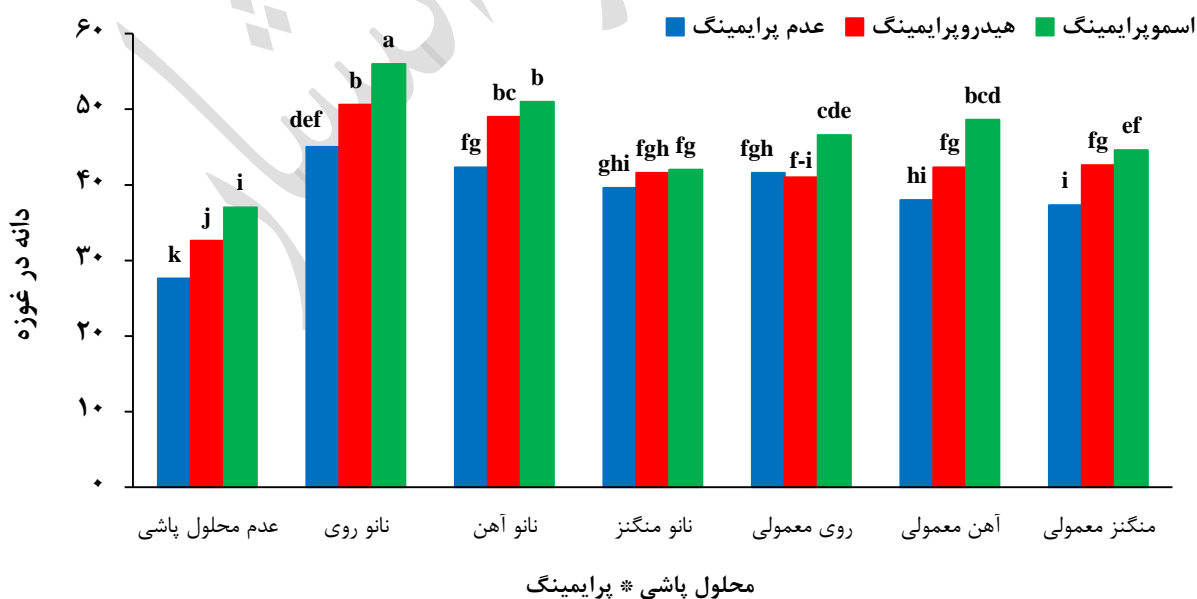
n.s. \* و \*\*: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

<sup>۱</sup> Least Significant Difference



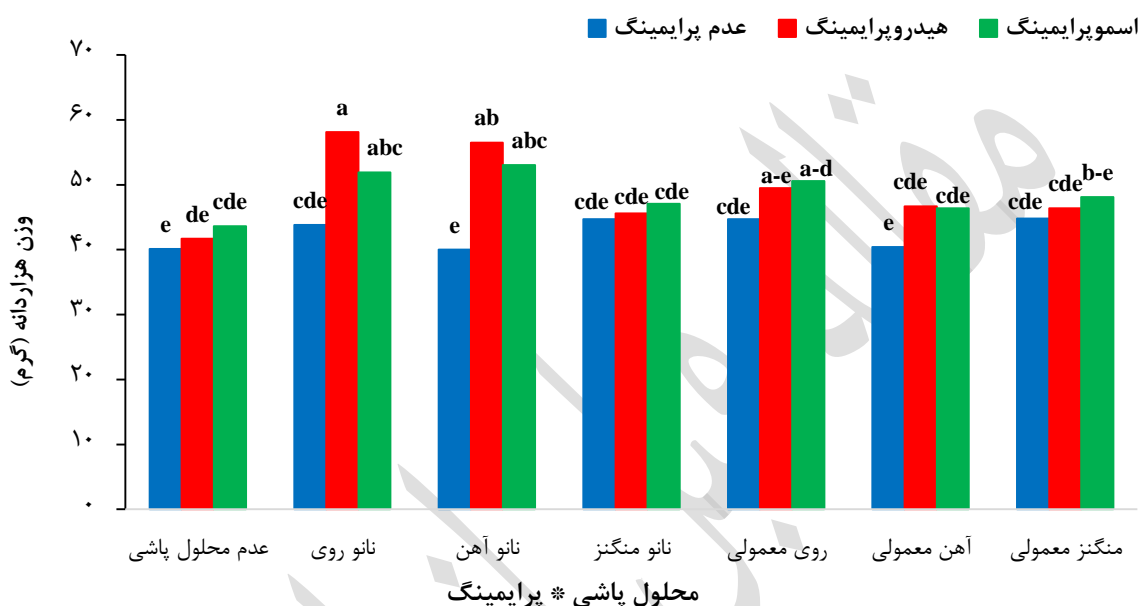
شکل ۱. مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر در محلول پاشی ریزمغذی‌ها بر تعداد غوزه در بوته گیاه گلرنگ. میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده‌ی پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش پرایمینگ در محلول‌پاشی بر تعداد دانه در غوزه گلرنگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اعمال اسموپرایمینگ در درجه اول به همراه محلول‌پاشی نانو روی و پس از آن به همراه محلول‌پاشی با نانو آهن بیشترین تاثیر را بر افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غوزه‌ی گلرنگ داشت. به طوری که تیمار اسموپرایمینگ به همراه نانو روی موجب افزایش ۱۰۵ درصدی و اسموپرایمینگ به همراه نانو آهن موجب افزایش ۸۵ درصدی تعداد دانه در غوزه‌ی گلرنگ در مقایسه ب تیمار شاهد شد (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر در محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها بر تعداد دانه در غوزه گیاه گلرنگ. میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

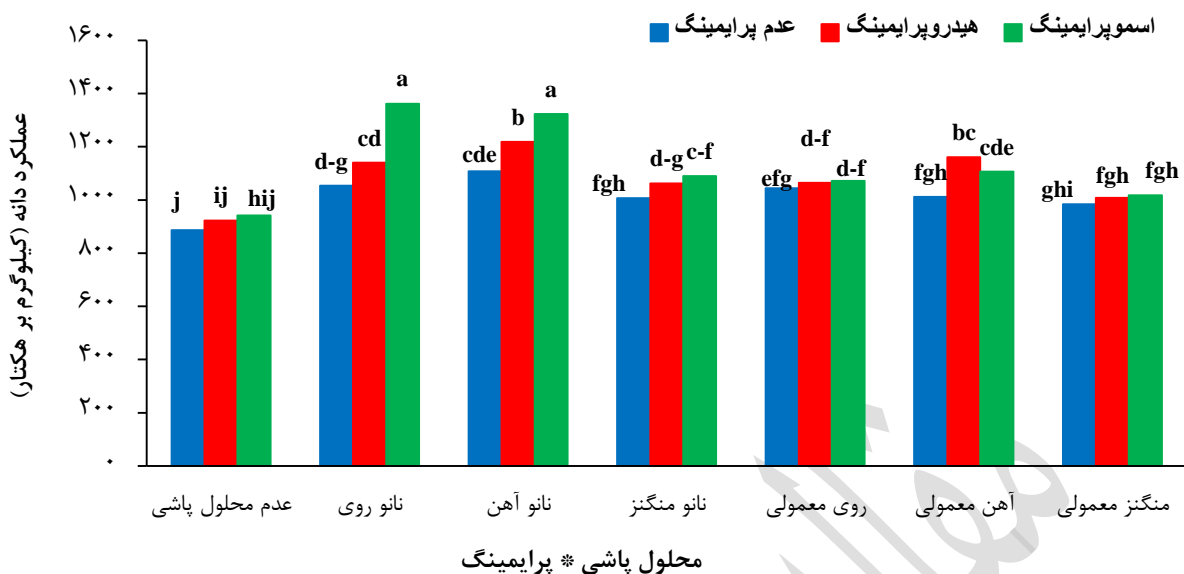
وزن هزاردانه گلرنگ تحت تاثیر اثرات ساده‌ی پرایمینگ و محلول‌پاشی قرار گرفت. همچنین برهم‌کنش پرایمینگ در محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه‌ی گلرنگ معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه‌ی میانگین نشان داد که از بین تیمارهای مورد بررسی در پژوهش، هیدروپرایمینگ بذور به همراه محلول‌پاشی روی و آهن بیشترین تاثیر مثبت را در افزایش وزن هزار دانه‌ی گلرنگ داشته است. به‌طوری که تیمار هیدروپرایمینگ به همراه نانو روی حدود ۴۴ درصد و تیمار هیدروپرایمینگ به همراه نانو آهن حدود ۴۲ درصد وزن هزار دانه‌ی گلرنگ را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش پرایمینگ بذر در محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها بر وزن هزاردانه گیاه گلرنگ. میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

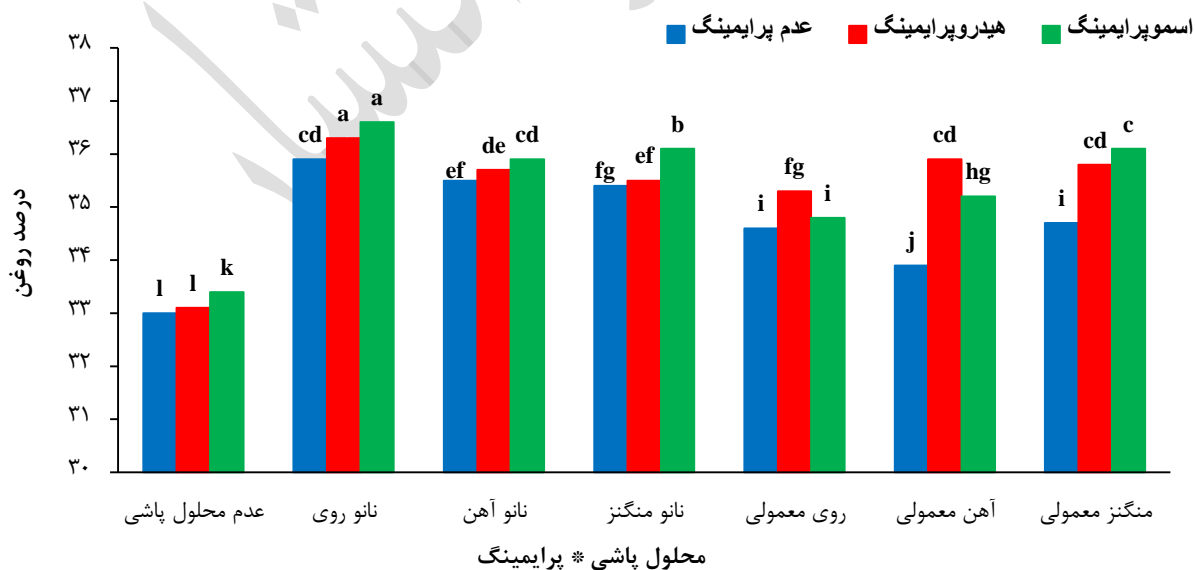
نتایج داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه در گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی قرار گرفت. به‌طوری که اثرات ساده و برهم‌کنش این تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴) نشان داد که عملکرد دانه‌ی گیاه گلرنگ تحت تیمارهای پژوهش، رفتاری همراستا با تعداد و وزن دانه از خود نشان داده است یعنی در تمامی تیمارهای محلول‌پاشی (چه در حالت معمولی عناصر و چه در حالت نانو)، اعمال اسموپرایمینگ بیشترین تاثیر را در افزایش عملکرد دانه‌ی گلرنگ در مقایسه با اعمال هیدروپرایمینگ با تیمار محلول‌پاشی مشابه داشته است. از بین تیمارهای محلول‌پاشی نیز به ترتیب نانو روی و نانو آهن بیشترین تاثیر مثبت را در افزایش عملکرد دانه‌ی گلرنگ داشتند. به‌طوری که بیشترین میزان عملکرد دانه در گلرنگ (۱۳۶۲ کیلوگرم در هکتار) تحت تیمار اسموپرایمینگ بذور و محلول‌پاشی نانو روی حاصل شد که این مقدار تفاوت معنی‌داری با عملکرد دانه در گلرنگ تحت تیمار اسموپرایمینگ بذور به همراه محلول پاشی نانو آهن (۱۳۲۳ کیلوگرم در هکتار) نداشت (شکل ۴).





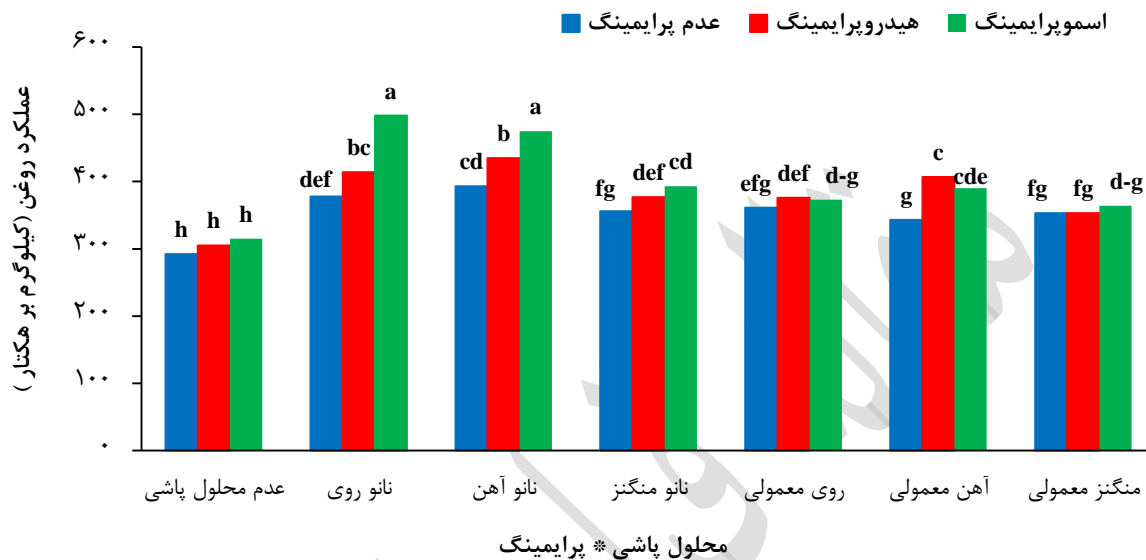
شکل ۴. مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر در محلول پاشی ریزمغذی‌ها بر عملکرد دانه گیاه گلرنگ. میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

اثرات ساده‌ی و برهم‌کنش پرایمینگ بذر و محلول پاشی ریزمغذی‌ها بر درصد روغن گلرنگ معنی‌دار بود (در سطح احتمال یک درصد)، (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر پرایمینگ در محلول پاشی نشان داد که هر دو روش پرایمینگ بذر مورد بررسی در پژوهش (هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ) به همراه محلول پاشی نانو روی از نظر آماری تاثیر مشابه و بسیار معنی‌داری بر افزایش درصد روغن در گلرنگ داشتند و موجب افزایش حدود ۱۰ درصدی این صفت در مقایسه با تیمار شاهد (عدم محلول پاشی عدم پرایمینگ) شدند. پس از آن‌ها تیمار اسموپرایمینگ بذر به همراه محلول پاشی نانومگنز برای این صفت در رتبه‌ی دوم آماری قرار گرفت (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر در محلول پاشی ریزمغذی‌ها بر درصد روغن گیاه گلرنگ. میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

اثرات ساده و برهم کنش پرایمینگ و محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد روغن گلرنگ معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اسموپرایمینگ بذور به همراه محلول پاشی نانو روی و محلول پاشی نانو آهن به ترتیب با ۴۹۸ و ۴۷۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد روغن بیشترین میزان روغن در گلرنگ را به خود اختصاص دادند و از نظر آماری اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۶).



شکل ۶. مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر در محلول پاشی ریزمغذی‌ها بر عملکرد روغن گیاه گلرنگ. میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

## ۵. بحث

تعداد غوزه در بوته یکی از اجزای مهم عملکرد گیاهان روغنی می‌باشد به طوری که بر اساس گزارش برخی پژوهشگران، این صفت در بین اجزای عملکرد بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه دارد (Di Donato *et al.*, 2021) و پیش تیمار بذر با محلول‌های اسمزی باعث افزایش متابولیسم در گیاه شده و باعث افزایش رشد و طی شدن سریعتر مراحل نمو می‌شود، در نتیجه تشکیل غوزه‌ها سریع‌تر اتفاق می‌افتد، بهبود رشد گیاه نیز افزایش تعداد غوزه در گلرنگ را در پی دارد (Waqas, 2019). از طرفی تفاوت در پتانسیل تشکیل مریستم‌های زایشی که وظیفه تولید غوزه در بوته را برعهده دارند، به عنوان مهمترین عامل ایجاد اختلاف در تعداد غوزه در بوته در گلرنگ گزارش شده است. و هر عاملی که فرصت رشد بهتر را در اختیار گیاه قرار دهد موجب شکل گیری مکان‌های بالقوه بیشتر جهت تولید غوزه بر روی گیاه از طریق افزایش انشعابات جانبی و دوره رشد خواهد شد (Houshmand *et al.*, 2022). بنابراین با توجه به اثرگذاری عنصر روی بر بیوسنتز هورمون اکسین و نقش آن در تقسیم سلولی و بیوسنتز کربوهیدرات‌ها (Jam *et al.*, 2023)، به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر اعمال توام تیمارهای اسموپرایمینگ و محلول پاشی روی توانسته از طریق بهبود و افزایش تشکیل مریستم‌های زایشی، موجب افزایش معنی دار تعداد غوزه در بوته‌ی گیاه گلرنگ شده است.

عامل اصلی افزایش تعداد دانه در واحد سطح گیاهانی که بذور آن‌ها اسموپرایمینگ شده‌اند، استقرار سریعتر بوته‌های ناشی از پرایمینگ و در نتیجه افزایش زمان و سرعت پر شدن دانه در این گیاهان معرفی شده است (Kumar & Rajalekshmi., 2021). همچنین گزارش شده است که کمبود روی منجر به عقیمی دانه‌های گرده می‌شود بنابراین محلول پاشی روی تعداد گل‌های بارور در گیاهان را افزایش می‌دهد (Jam *et al.*, 2023). علاوه بر آن نشان داده شده است که عنصر روی با افزایش میزان فتوسنتز و متابولیسم گیاهی باعث افزایش گرده‌افشانی گیاه شده و تعداد دانه در بوته گیاهان را افزایش می‌دهد (Rahmani *et*

(al., 2019). در مورد عنصر آهن نیز گزارش شده است که کاربرد آهن موجب دسترسی بهتر گیاه به مواد غذایی، افزایش تعداد سلول‌های بنیادی و افزایش مواد فتوسنتزی می‌شود که این امر افزایش تعداد دانه در واحد سطح را به همراه دارد. از طرفی قابلیت حل‌پذیری و جذب بالا از خصوصیات ممتاز ذرات نانو در مقایسه با حالت معمولی عناصر گیاه می‌باشد (Abdoli et al., 2020). از این رو به نظر می‌رسد نانوذره اکسید روی نسبت به اکسید روی معمولی به دلیل ثبات و پایداری اثر بالا بیشتر در اختیار گیاه قرار گرفته و در تشکیل دانه بیشتر در غوزه موثر بوده است.

گزارش شده است که هیدرو پرایمینگ بذر باعث استقرار سریعتر گیاهچه‌ها می‌شود و گیاهچه‌هایی که سریعتر استقرار یافته‌اند، سیستم ریشه‌ای عمیق‌تری را تولید می‌نمایند که این امر موجب تسهیل انتقال آب و مواد غذایی از خاک به گیاه شده و در نهایت افزایش وزن هزار دانه و اجزای عملکرد گیاه را در پی دارد (Akbari et al., 2020). از طرفی مصرف روی باعث افزایش انتقال آسمیلات‌های ساخته شده توسط گیاه به دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن دانه می‌گردد. به‌طور کلی افزایش وزن هزار دانه گیاهان تحت تاثیر کاربرد روی به نقش این عنصر در افزایش فرایندهای فتوسنتزی و تجمع کربوهیدرات‌ها نسبت داده شده است (Mohammadghasemi et al., 2021). آهن نیز رنگدانه‌های فتوسنتزی و سیستم محافظتی وابسته به برخی رنگدانه‌ها مانند فلاونوئیدها را متاثر ساخته و در نهایت با افزایش آسمیلات‌های درون سلولی به افزایش وزن هزار دانه منجر می‌شود. در مجموع کاربرد عناصر روی و آهن باعث افزایش میزان هیدرات‌های کربن در گیاه شده که در نهایت منجر به افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در واحد سطح می‌شود (Ghassemi-Golezani & Rahimzadeh, 2022). استفاده از محلول پاشی عناصر روی و آهن به صورت نانو به دلیل تسهیل فرایند جذب این عناصر در گیاه، باعث بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه از جمله بهبود عملکرد کلروفیل، افزایش تولید پرولین، کاهش تحریک اکسیداتیو و تنش‌های زیستی و بهبود مقاومت به بیماری‌ها می‌شود (Saudy et al., 2021). به‌نظر می‌رسد که استفاده از محلول پاشی عناصر روی و آهن به صورت نانو در پژوهش حاضر باعث افزایش کارایی و جذب سایر عناصر توسط دانه و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه در گلرنگ شده است.

به‌طور کلی گزارش شده است که هرچه قدرت بذر بالاتر باشد از طریق تولید گیاهچه‌های قوی باعث افزایش اجزای عملکرد و در نهایت افزایش عملکرد گیاه می‌شود. اسموپرایمینگ از طریق بهبود فعالیت‌های متابولیکی در گیاهچه می‌تواند ظهور گیاه در مزرعه، تشکیل غوزه، پرشدن دانه و در نهایت عملکرد دانه را بهبود بخشد (Bouriou et al., 2020). از طرفی بنا به گزارشات کاربرد عنصر روی منجر به ایجاد بوته‌های قوی تر می‌شوند که قادر هستند غوزه‌های بیشتری تولید کنند. همچنین حضور عنصر روی در مراحل گرده افشانی تا رسیدن دانه بار تأثیرگذاری بر فرایندهای متابولیسمی نظیر بیوسنتز پروتئین‌ها سبب می‌گردد تا نیازهای غوزه و اجزای آن بهتر تامین گردد. برآیند این عوامل منجر به کاهش دانه‌های پوک شده و در نهایت با افزایش تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه، موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Rahmani et al., 2019). در مورد تاثیر آهن بر عملکرد دانه نیز گزارش شده است که انجام محلول پاشی آهن در ابتدای مراحل رشد از یک سو باعث رساندن عناصر غذایی و کمک به جذب عناصر پرمصرف توسط این عنصر شده و از سوی دیگر با تسهیل در ساخت متابولیت‌های ثانویه و انتقال مواد به دانه، در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Ghassemi-Golezani & Rahimzadeh, 2022). با این وجود در توجیه کارایی بهتر ذرات نانو روی و نانو آهن نسبت به کاربرد معمولی این عناصر، باید به ساختار ذرات نانو اشاره کرد. به عبارت دیگر از آنجایی که ذرات نانو دارای ابعاد بسیار ریزی هستند، سطح ویژه بالایی دارند که این امر واکنش‌پذیری و تحرک بالاتری را در گیاه ایجاد می‌کند و باعث می‌شود محلول کود با سرعت و همگنی بالاتر در گیاه توزیع شود (Mogazy & Hanafy, 2022). مجموعه‌ی این دلایل احتمالاً افزایش پارامترهای موثر در اجزای عملکرد را به دنبال دارد و منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود.

از جمله تأثیرات مستقیم پرایمینگ بذر بر درصد روغن دانه، به افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیکی که در فرایند ساخت روغن در دانه‌ها نقش دارند اشاره شده است که باعث تحریک فعالیت آنزیم‌ها و افزایش تولید روغن در دانه‌ها می‌شود. علاوه بر این، پرایمینگ بذر می‌تواند عوامل خارجی مانند تنش خشکی و شوری را در دوره‌های اولیه رشد گیاه کاهش دهد که باعث افزایش عملکرد و درصد روغن دانه شود (Pagano et al., 2023). عنصر روی در فعالیت بسیاری از آنزیم‌هایی که در فرایند تولید روغن دانه‌ها نقش دارند، مهم است. کمبود روی در گیاهان دانه روغنی می‌تواند باعث کاهش عملکرد و کیفیت دانه‌ها شود

(Weisany et al., 2021). در مورد منگنز نیز گزارش شده است که یکی از نقش‌های اساسی این عنصر در گیاهان دانه‌روغنی، بهبود جذب و استفاده از عناصر غذایی دیگر مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم است. همچنین، منگنز در فرآیند فتوسنتز و تولید انرژی به عنوان عامل کاتالیزور و در تنظیم فعالیت آنزیم‌های متابولیکی نقش دارد. و به عنوان عاملی برای افزایش تولید روغن در دانه‌های گیاهی عمل می‌کند (Khodabin et al., 2021). این عنصر باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیکی در دانه‌های روغنی می‌شود و باعث افزایش تولید روغن در دانه‌های گیاهی می‌شود (Khodabin et al., 2021). در حالت نانو، عناصر به صورت بسیار ریز و با سطح بیشتری در دسترس گیاه قرار می‌گیرند که باعث افزایش کارایی آن‌ها در جذب و استفاده از عناصر غذایی دیگر می‌شود به طوری که نانوذرات عناصر روی و منگنز با اندازه بسیار کوچک، به راحتی وارد سلول‌های گیاهی می‌شوند و باعث افزایش انرژی داخل سلولی و بهبود فعالیت آنزیم‌های متابولیکی می‌شوند (پارسامهر و همکاران، ۱۳۹۶). به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر استفاده از محلول پاشی عناصر روی و منگنز به صورت نانو باعث افزایش جذب عناصر، افزایش کارایی عناصر، افزایش انرژی داخل سلولی و بهبود فعالیت آنزیم‌های متابولیکی می‌شود که در نتیجه باعث افزایش درصد روغن دانه در گلرنگ شده است.

یکی از دلایل افزایش عملکرد روغن در اسموپرایمینگ، بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاهان می‌باشد. به عبارت دیگر بذرهایی که تحت این روش پیش‌تیماری شده‌اند، قبل از کاشت در شرایط سخت قرار گرفته‌اند و می‌توانند پس از جوانه‌زنی و تشکیل گیاهچه نیز با شرایط سخت محیطی، مانند خشکی و کمبود عناصر غذایی، بهتر سازگار شوند (Bouriou et al., 2020). اسموپرایمینگ بذور می‌تواند تاثیر مثبتی بر روی عملکرد روغن دانه در گیاهان روغنی داشته باشد زیرا باعث شکل‌گیری ریشه و شاخه‌های قوی‌تر در گیاهان می‌شود که بهبود رشد و توسعه گیاه کمک می‌کند. همچنین، این روش می‌تواند باعث افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه شود که باعث افزایش عملکرد روغن دانه می‌شود (Kumar & Rajalekshmi., 2021). عناصر روی و آهن دو عنصر مهمی هستند که در فرآیند تولید کلروفیل در گیاهان نقش دارند و بنابراین، با تامین این عناصر، فعالیت فتوسنتزی گیاه افزایش می‌یابد (Mazaheri-Tirani et al., 2022). از طرفی گزارش شده است که استفاده از نانو ذرات روی و آهن در محلول‌پاشی، می‌تواند باعث افزایش جذب این عناصر توسط گیاه شود. بنابراین به دلیل سطح بالایی که دارند، باعث افزایش تماس میان عناصر و گیاه شود و جذب آن توسط گیاه را افزایش دهد. همچنین محلول‌پاشی حالت نانو این عناصر می‌تواند باعث افزایش حرکت آن‌ها در داخل گیاه شود و بنابراین، عملکرد گیاه را بهبود دهد (Fincheira et al., 2021). در پژوهش حاضر نیز استفاده از فرم نانو عناصر روی و آهن احتمالاً باعث افزایش جذب نور توسط گیاه شده و در نهایت باعث افزایش فتوسنتز شده و افزایش عملکرد دانه و روغن گلرنگ را به همراه داشته است.

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که هر دو روش پرایمینگ بذر مورد بررسی در پژوهش (هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ) توانست اجزای عملکرد و عملکرد کمی و کیفی دانه‌ی گلرنگ را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد با توجه به اینکه در روش هیدرو پرایمینگ، بذور قبل از کاشت، با آب نیمه گرم تحت فشار قرار داده می‌شوند، احتمالاً در پژوهش حاضر، اسموپرایمینگ و هیدرو پرایمینگ باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، افزایش رشد جوانه، بهبود جذب آب و عناصر غذایی، افزایش مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی و بهبود عملکرد گلرنگ شده‌اند، و از این طریق توانسته‌اند، باعث افزایش جوانه‌زنی، بهبود تغذیه بذر و بهبود عملکرد در این گیاه شوند. نتایج همچنین نشان داد محلول‌پاشی عناصر روی و آهن به صورت نانو در گیاهچه‌هایی که بذور آن‌ها قبل از کاشت اسموپرایمینگ شده‌اند بیشترین تاثیر را در افزایش عملکرد کیفی و کمی دانه‌ی گلرنگ داشته‌اند. به طور کلی می‌توان گفت فرآیند اسموپرایمینگ، احتمالاً باعث افزایش سرعت جوانه زنی، بهبود سامانه ریشه‌ای و افزایش عملکرد گیاه می‌شود. از سوی دیگر، محلول پاشی نانو ذرات روی و آهن می‌تواند به دلایل زیر بهبود عملکرد گیاه را تسریع کند: ۱- افزایش جذب عناصر غذایی: نانوذرات روی و آهن به دلیل اندازه کوچکشان، به راحتی و با قابلیت جذب بالا، می‌توانند به بخش‌های مختلف گیاه نفوذ کنند و جذب عناصر غذایی را افزایش دهند. ۲- افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها: بنا

به گزارشات متعدد نانوذرات روی و آهن می‌توانند به عنوان ضدعفونی کننده‌های طبیعی عمل کنند و می‌توانند باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر بیماری‌ها شوند. ۳- افزایش فعالیت آنزیم‌ها: نانوذرات روی و آهن می‌توانند با فعال‌سازی آنزیم‌های مهم در گیاه، بهبود فرآیندهای متابولیکی را تسهیل کنند و در نتیجه عملکرد گیاه را بهبود بخشند. بنابراین، در مجموع اعمال پرایمینگ بذور گلرنگ به همراه محلول پاشی عناصر ریزمغذی به ویژه روی و آهن به صورت نانو، به عنوان روشی امیدبخش جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی دانه و روغن گیاه گلرنگ در شرایط آب و هوایی مشابه قابل توصیه است.

## ۷. تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت‌های اساتید بزرگوار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه که برای اجرای طرح مذکور یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۸. منابع

- پارسامهر، سامان؛ امینیان، رقیه و حبیب زاده، فرهاد (۱۳۹۶). واکنش‌های ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ به محلول پاشی نانو اکسید آهن در شرایط کم آبیاری. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۰ (۴)، ۱۲۱-۱۳۶.
- سیدشرفی، رئوف؛ امیری، مهران و خلیل زاده راضیه (۱۳۹۷). تاثیر سابکوسل بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گندم تحت تنش شوری. فیزیولوژی و اصلاح گیاه. ۸ (۱)، ۲۳-۱۱.
- فلاح، فرشاد؛ کهربیزی، دانیال؛ رضایی زاد، عباس؛ زبردی، علیرضا و زارعی، لیلا (۱۳۹۹). بررسی تنوع و پارامترهای ژنتیکی پروفایل اسید چرب در لاین‌های هاپلوئید مضاعف در گیاه دانه روغنی کاملینا (*Camelina sativa* L.). پژوهش‌های ژنتیک گیاهی. ۶ (۲)، ۷۹-۹۶.
- میرموسوی، حسین و کیانی، حدیث (۱۳۹۶). بررسی طبقه‌بندی اقلیمی کپن در ایران در سال ۱۹۷۵ و مقایسه آن با خروجی مدل MIROC برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۰۸۰ و ۲۱۰۰ تحت سناریوهای A1B و A2 (با تأکید بر موضوع تغییر اقلیم)، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۶ (۲)، ۷۲-۵۹.

## References

- Abdoli, M. (2020). Effects of Micronutrient Fertilization on the Overall Quality of Crops. In *Plant Micronutrients*. edited by Aftab, T., Hakeem, K. R. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49856-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49856-6_2).
- Abdoli, S., Ghassemi-Golezani, K., & Alizadeh-Salteh, S. (2020). Responses of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) to exogenous salicylic acid and iron oxide nanoparticles under salt stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 36939–36953. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09453-1>.
- Akbari, G. A., Heshmati, S., & Soltani, E. (2020). Influence of seed priming on seed yield, oil content and fatty acid composition of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit. *International Journal of Plant Production*, 14, 245–258. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00081-5>.
- Bourioug, M., Ezzaza, K., & Bouabid, R. (2020). Influence of hydro- and osmo-priming on sunflower seeds to break dormancy and improve crop performance under water stress. *Environmental Science and Pollution*, 27, 13215–13226. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07893-3>.
- Di Donato, F., D'Archivio, A. A., & Maggi, M. A. (2021). Detection of Plant-Derived Adulterants in Saffron (*Crocus sativus* L.) by HS-SPME/GC-MS Profiling of Volatiles and Chemometrics. *Food Anal. Methods*, 14, 784–796. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01941-x>.

- Fallah, F., Kahrizi, D., Rezaeizad, A., Zebarjadi, A. R., & Zarei, L. (2020). Evaluation of genetic variation and parameters of fatty acid profile in doubled haploid lines of *Camelina sativa* L. *Plant Genetic Researches*, 6(2), 79-96. (In Persian).
- Fincheira, P., Tortella, G., & Seabra, A. B. (2021). Nanotechnology advances for sustainable agriculture: current knowledge and prospects in plant growth modulation and nutrition. *Planta*, 254, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03714-0>.
- Ghassemi-Golezani, K., & Rahimzadeh, S. (2022). Biochar-based nutritional nanocomposites: a superior treatment for alleviating salt toxicity and improving physiological performance of dill (*Anethum graveolens*). *Environ Geochem Health*, 45, 3089–3111. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01397-4>.
- Ghassemi-Golezani, K., Farhangi-Abriz, S., & Abdoli, S. (2021). How can biochar-based metal oxide nanocomposites counter salt toxicity in plants? *Environ Geochem Health*, 43, 2007–2023 <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00780-3>.
- Houshmand, P., Shirani, M., & Ehsanzadeh, P. (2022). Insights into temperature and soil moisture-induced alterations in safflower Physiological, seed filling, quality, and yield attributes. *International Journal of Plant Production*, 16, 181–193 <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00168-y>.
- Jagadish, T., Sudarshan, D., Krishna Prasad, D., Somsubhra, C., Ram, K., Sudarshan, B., Lal Prasad, A., Vinod, K., Saiful, I., & Kaushik, M. (2021). Improved nutrient management in cereals using Nutrient Expert and machine learning tools: Productivity, profitability and nutrient use efficiency. *Agricultural Systems*, 192, 458–469. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103181>.
- Jam, B. J., Shekari, F., & Andalibi, B. (2023). Impact of Silicon Foliar Application on the Growth and Physiological Traits of *Carthamus tinctorius* L. Exposed to Salt Stress. *Silicon*, 15, 1235–1245. <https://doi.org/10.1007/s12633-022-02090-y>.
- Karimi, N., Goltapeh, E. M., & Amini, J. (2021). Effect of Azospirillum zeae and Seed Priming with Zinc, Manganese and Auxin on Growth and Yield Parameters of Wheat, under Dryland Farming. *Agricultural Research*, 10, 44–55. <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00480-5>.
- Khodabin, G., Tahmasebi-Sarvestani, Z., & Rad, A. H. S. (2021). Effect of Late-Season Drought Stress and Foliar Application of ZnSO<sub>4</sub> and MnSO<sub>4</sub> on the Yield and Some Oil Characteristics of Rapeseed Cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 1904–1916. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00489>.
- Kumar, V. K., & Rajalekshmi, R. (2021). Effect of hydro-, halo- and osmopriming on seed germination and seedling performance of *Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC. (winged bean). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 24, 411-428. <https://doi.org/10.1007/s12892-021-00090-9>.
- Mazaheri-Tirani, M., Kashani, A., & Koohi-Dehkordi, M. (2022). The role of iron nanoparticles on morpho-physiological traits and genes expression (IRT1 and CAT) in rue (*Ruta graveolens*). *Plant Molecular Biology*, 110, 147–160. <https://doi.org/10.1007/s11103-022-01292-7>.
- Mirmusavi, H., & Kiyani, H. (2017). Investigating the climatic classification of Kopen in Iran in 1975 and comparing it with the output of the MIROC model for the years 2030, 2050, 2080 and 2100 under A1B and A2 scenarios (with an emphasis on the issue of climate change), *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6(22), 59-72. (In Persian).
- Mogazy, A. M., & Hanafy, R. S. (2022). Foliar Spray of Biosynthesized Zinc Oxide Nanoparticles Alleviate Salinity Stress Effect on *Vicia faba* Plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 2647–2662. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00833-9>.
- Mohammadghasemi, V., Siavash Moghaddam, S., & Rahimi, A. (2021). The Effect of Winter Sowing, Chemical, and Nano-Fertilizer Sources on Oil Content and Fatty Acids of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyrefeer). *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1714–1727. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10220-2>.
- Pagano, A., Macovei, A., & Balestrazzi, A. (2023). Molecular dynamics of seed priming at the crossroads between basic and applied research. *Plant Cell Reports*, 42, 657–688. <https://doi.org/10.1007/s00299-023-02988-w>.

- Parsamehr, S., Aminian, R., & Habibzadeh, F. (2016). Reactions of different genotypes of safflower to foliar application of nano iron oxide under low irrigation conditions. *Crop production journal*, 10(4), 136-121. (In Persian).
- Rahmani, F., Sayfzadeh, S., & Jabbari. (2019). Alleviation of Drought Stress Effects on Safflower Yield by Foliar Application of Zinc. *International Journal of Plant Production*, 13, 297–308. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00055-7>.
- Ram, H., Kaur, M., Gupta, N., & Kumar, B. (2021). Integrated Approaches for Biofortification of Food Crops by Improving Input Use Efficiency. In *Input Use Efficiency for Food and Environmental Security*. edited by Bhatt, R., Meena, R. S., Hossain, A. Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-5199-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5199-1_14).
- Saudy, H. S., El-Samad, G. A. A., & El-Temseh, M. E. (2022). Effect of Iron, Zinc, and Manganese nano-form mixture on the micronutrient recovery efficiency and seed yield response index of sesame genotypes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 732–742. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00681-z>.
- Seyed Sharifi, R., Amiri, M., & Khalilzadeh, R. (2017). The effect of Psychocell on some physiological traits and yield of wheat under salt stress. *Physiology and plant breeding*, 8(1), 11-23. (In Persian).
- Waqas, M. (2019). Advances in the Concept and Methods of Seed Priming. In *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*. edited by Hasanuzzaman, M., Fotopoulos, V. Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_2).
- Weisany, W., Mohammadi, M., & Tahir, N. (2021). Changes in growth and nutrient status of Maize (*Zea mays* L.) in response to two Zinc sources under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 3367–3377. <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-021-00612-y>. 16/j.gfs.2019.06.